

Tím získáváme jednu číselnou hodnotu indukce. Ostatní hodnoty indukce jsou této hodnotě indukce úměrné podle relativní velikosti obrázku hysterezní smyčky na stínítku osciloskopu.

V této úloze zvláště důsledně dbáme na užívání jednotek soustavy SI, jinak dostáváme magnetickou indukci řádově zcela chybně. Potřebné údaje o kroužcích jsou uvedeny na pracovním stole.

Literatura

- [1] Krupička S.: Fyzika feritů a příbuzných magnetických kysličníků, Academia, Praha 1969
- [2] Brož J. a kol.: Základy fyzikálních měření I, SPN, Praha 1983, čl. 5.1.3.2 , 5.1.6.1 , st. 5.3.4

22. MĚŘENÍ TEPLOTNÍHO PRŮBĚHU MAGNETICKÉ POLARIZACE

Pracovní úkol

1. U vzorku nikelnatozinečnatého feritu změřte v oboru teplot od 100°C do Curieovy teploty při stoupající i klesající teplotě závislost maximální indukce B_m na teplotě.
2. Okalibrujte aparaturu pomocí střídavého napětí známé velikosti.
3. Tabelárně i graficky zpracujte závislost magnetické polarizace vzorku na teplotě a určete Curieovu teplotu vzorku.
4. Podle empirického vzorce pro závislost Curieovy teploty na složení vzorku odvoďte chemický vzorec feritu.

V této úloze se seznámíme s konkrétním průběhem teplotní závislosti magnetické polarizace a poklesem polarizace na nulovou hodnotu při dosažení Curieovy teploty. Poznáme jeden ze způsobů určování Curieovy teploty, která patří k základním charakteristikám magnetického stavu studovaných materiálů (srov. s úlohou 21).

Curieova teplota

Při Curieově teplotě zaniká spontánní magnetický moment látek feromagnetických, ferimagnetických aj. Projevuje se to zejména ztrátou hysterezních vlastností a poklesem magnetické polarizace a susceptibility na velmi nízké, prakticky nulové hodnoty. V současnosti jsou známy látky s Curieovou teplotou od jednotek K až asi do 10^3 K .

Studovaný vzorek je nikelnatozinečnatý ferit s obecným vzorcem $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$. Se stoupajícím obsahem Zn ve feritu Curieova teplota klesá. Podle empirických dat, uvedených v [2, str. 207] platí pro Curieovu teplotu T_C nikelnatozinečnatého feritu měřenou ve $^{\circ}\text{C}$ v oblasti složení $0 \leq x \leq 0,85$ vztah

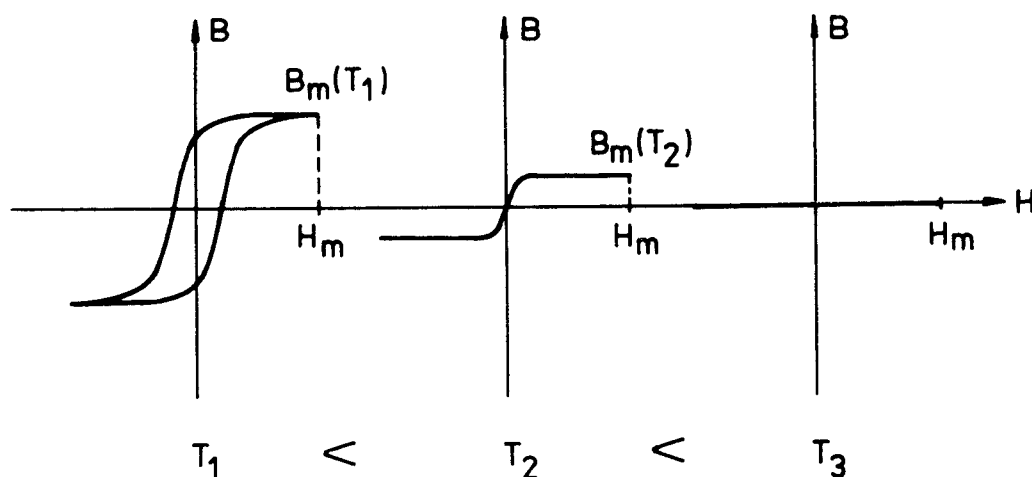
$$T_C = 585 - 520x - 200x^2 \quad (1)$$

O feritech jsme se již zmínili v prvním odstavci návodu k úloze 21. Nebudeme zde tyto základní informace opakovat (viz též lit. [1]).

Určení teplotního průběhu magnetické polarizace a Curieovy teploty

Vzorek ve tvaru kroužku magnetujeme střídavým proudem síťové frekvence (50 Hz) v primárním vinutí. V sekundárním vinutí kroužku se indukuje napětí dané časovou změnou indukčního toku $d\phi/dt$. Jelikož $\phi = n_2 S B$ (n_2 = počet sekundárních závitů, S = průřez kroužku, B = magnetická indukce kroužku), je indukované napětí úměrné časové změně indukce. Integrací tohoto napětí získáváme indukci v závislosti na průběhu magnetizačního proudu v čase, tj. též v závislosti na magnetickém poli působícím ve vzorku.

Přivedeme-li na X-vstup osciloskopu napětí úměrné magnetizačnímu proudu a na Y-vstup integrované napětí ze sekundárního vinutí, pozorujeme na stínítku obraz hysterezní smyčky. S rostoucí teplotou $T_1 < T_2 < T_3$ (obr.1) se snižuje maximální indukce B_m dosažená při určitém zvoleném magnetizačním proudu (magnetickém poli), hysterezní smyčka se celkově zmenšuje, její plocha klesá až smyčka přejde ve vodorovnou úsečku. Stav těsně pod Curieovou teplotou, při Curieově teplotě a nad ní ukazují v obr.1 teploty T_2 a T_3 .

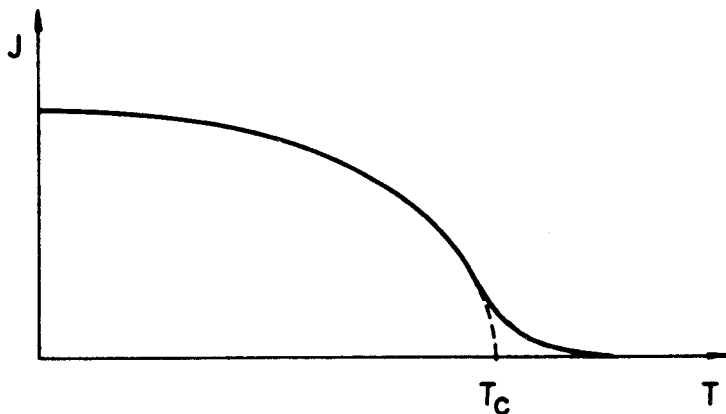


Obr. 1

Volíme-li magnetizační proud dostatečně silný, aby docházelo k technickému nasycení vzorku, magnetická polarizace všech domén míří ve směru působícího magnetického pole. Pozorovaná indukce B_m je pak dána součtem magnetické polarizace domén J (tzv. spontánní magnetické polarizace) a indukce B_0 magnetického pole v kroužku. Platí

$$B_m = J + B_0 \quad , \quad B_0 = \mu_0 H_m \quad , \quad (2)$$

kde H_m je magnetické pole odpovídající špičkové hodnotě magnetizačního proudu a μ_0 permeabilita vakua. Změříme-li teplotní průběh $B_m(T)$, můžeme podle (2) určit teplotní průběh (spontánní) magnetické polarizace $J(T)$.



Gbr. 2

Závislost $J(T)$ je schématicky znázorněna v obr.2. Polarizace klesá s rostoucí teplotou nejprve zvolna a při Curieově teplotě T_C poklesne teoreticky velmi prudce na nulu (znázorněno čárkovaně). Ve skutečnosti tato závislost vykazuje výběžek (plně vytažený), který se jen zvolna blíží k nule. Tento výběžek je působen neho-

mogenitami vyskytujícími se v každém reálném materiálu. Curieovu teplotu T_C určujeme extrapolací prudce klesající části závislosti $J(T)$ do hodnoty $J = 0$ tesla.

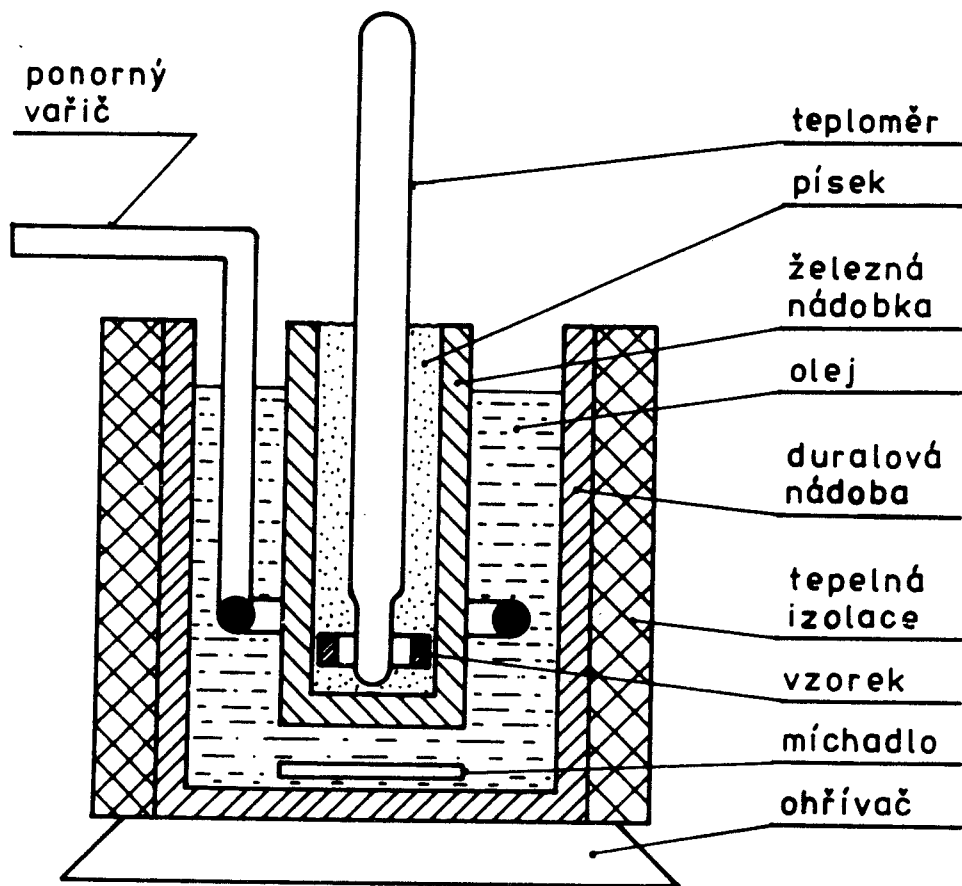
Těsně pod Curieovou teplotou se magnetická polarizace řídí zákonem

$$J^n = \alpha (T_C - T) \quad , \quad (3)$$

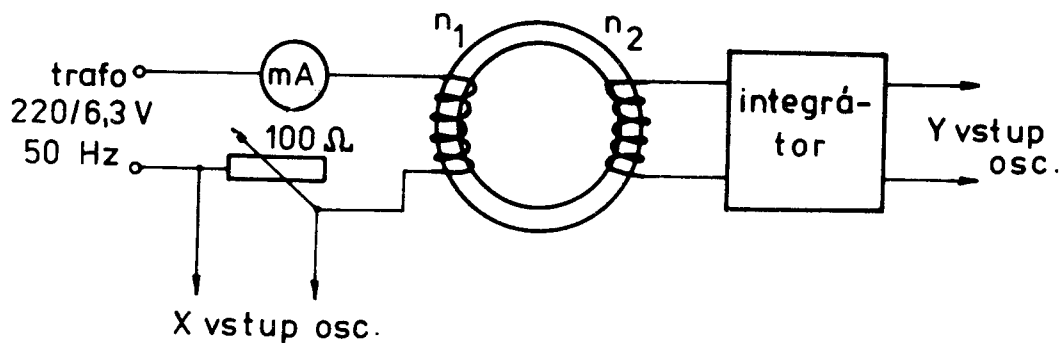
kde α je konstanta úměrnosti a pro exponent n plyne z modelu molekulárního pole a klasické termodynamiky $n = 2$ [3, str. 92 a 106]. Dokonalejší teorie i experimenty dávají pro n hodnoty v okolí 2 [4, str. 431]. V našem případě vyhovuje v dostatečně velkém (ne však celém proměřovaném) oboru teplot exponent $n = 2,34$. Vztahu (3) můžeme tedy též použít pro stanovení T_C jako teploty, při níž J poklesne na nulu.

Vlastní měření a kalibrace aparatury

Uspořádání pokusu je schématicky znázorněno v obr.3. Železná nádobka umožňuje dobrý přestup tepla z olejové lázně a současně dostatečně stíní měřený vzorek proti rušivým magnetickým polím.



Obr. 3



Obr. 4

Užíváme ohříváče MM 1 s míchačkou, ponorný vaříč slouží k rychlejšímu dosažení 100°C . Je-li olejová lázeň zahřátá z předchozího praktika, je použití ponorného vaříče zbytečné. Pro obor teplot od 100°C do Curieovy teploty stačí v daném uspořádání samotný ohříváč MM 1.

Schéma zapojení ukazuje obr. 4. Miliampérmetrem nastavíme magnetizační proud, jehož vhodná hodnota je 150 mA. Magnetické pole H v kroužku počítáme s vyhovující přesností podle vzorce [5, čl. 5.1.6.1].

$$H = \frac{n_1 i}{\pi d} \quad , \quad d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad , \quad (4)$$

kde n_1 je počet primárních závitů, d_1 a d_2 vnější a vnitřní průměr kroužku a i magnetizační proud. Jelikož miliampérmetr ukazuje efektivní hodnoty, musíme pro výpočet H_m čtenou hodnotu proudu znásobit $\sqrt{2}$. Napětí pro X-vstup osciloskopu odebíráme přímo z reostatu užívaného k regulaci magnetizačního proudu.

Použití integrátoru je popsáno v návodu k úloze č. 21 .

Při použití osciloskopu OPD 280 U nastavíme přepínač funkce časové základny do polohy "HOR. AMPL." . Výstup z integrátoru přivedeme na libovolný vertikální vstup osciloskopu, stopy z ostatních vertikálních vstupů vysuneme mimo stínítko. Je výhodné uzemnit osciloskop zvláštním kabelem. Regulační knoflíky citlivosti a polohy nastavíme tak, aby krátce před začátkem měření (tj. při dosažení $90 - 95^\circ \text{C}$) obraz hysterezní smyčky pokrýval celý rastr stínítka osciloskopu. S nastavenou citlivostí dále nemanipulujeme až do skončení kalibrace. Konektory ponecháváme v integrátoru a osciloskopu zasunuté i po skončeném měření.

Od 100°C výše sledujeme vizuálně změny tvaru hysterezní smyčky a k jednotlivým teplotám zapisujeme vertikální rozměr hysterezní smyčky, tj. veličinu úměrnou $2B_m$. Vertikálním posuvem obraz hysterezní smyčky na stínítko vhodně umísťujeme (např. tak, aby bod $-B_m$ připadl na celý dílek stupnice, kvůli snadnějšímu čtení). Doporučuje se měřit do 140°C po 5°C , do 160°C po 2°C a nad 160°C po 1°C . Po dosažení Curieovy teploty vypínáme ohříváč, míchačku však ponecháváme v chodu. Teplota setrvačností ještě poněkud stoupne (asi o 5°C) a pak zvolna klesá. Měření opakujeme při týchž teplotách jako při rostoucí teplotě. Při klesající teplotě vycházejí hodnoty B_m systematicky vyšší než při stoupající teplotě. Je to způsobeno tím, že v uspořádání podle obr.3 při stoupající teplotě se vzorek zahřívá poněkud rychleji než teploměr, při klesající teplotě vzorek chladne poněkud rychleji než teploměr. Rozdíly jsou nejvýraznější těsně pod Curieovou teplotou, kde se magnetická polarizace s teplotou velmi rychle mění. Rozdíly eliminujeme tím, že z měření při stoupající a klesající teplotě bereme aritmetický střed.

Kalibraci integrátoru provádíme v zapojení podle obr. 2b u úlohy č. 21 . Postup při kalibraci je naprosto stejný a proto jej neopakujeme. Prostudujte si jej v citovaném návodu k úl. č. 21 .

Průřez vzorku S počítáme z rozdílu průměrů kroužku d_1 , d_2 a výšky kroužku v podle vzorce

$$S = \frac{1}{2} (d_1 - d_2) v \quad . \quad (5)$$

Praktické pokyny

Ihned na začátku praktika spouštíme osciloskop (za dozoru vyučujícího). Dále zobrazíme na stínítku hysterezní smyčku. Vychází-li hysterezní smyčka

zrcadlově převrácená vůči vertikální ose, než znázorňuje obr.1 , stačí přepólovat přívody magnetizačního proudu nebo přívody na vstup k integrátoru (pro vlastní měření je ovšem postavení smyčky nepodstatné). Seznámíme se dokonale s ovládacími prvky osciloskopu, abychom během měření nepohnuli s nastavením citlivosti. Pracujeme s co největší ostrostití stopy.

Zahřívání vzorku : spustíme míchačku (500 ot., zůstává v chodu po celé praktikum), zapojíme ohříváč, a je-li olejová lázeň vychlazena na pokojovou teplotu, zapínáme též ponorný vaříč. Příkon vaříče můžeme nastavit regulátorem výkonu pracujícím s polovodičovým prvkem triakem. Regulátor nastavujeme do polohy 1/2 až 3/4 , při dosažení teploty 80° C ponorný vaříč natrvalo vypojíme ze sítě. Další postup byl popsán výše. Celý cyklus trvá asi 1 1/4 hod. S olejovou lázní zacházíme opatrně (např. přepojujeme-li na kalibraci), při převrnutí nádoby je nebezpečí popálení horkým olejem !!!

Stupnici teploměru lze číst asi od 80° C výše. Teploměr je ve vnitřní nádobce utěsněn, nelze ho jednoduše vyjmout a proto s ním nemanipulujeme!

Obraz hysterezní smyčky se na stínítku jemně chvěje. Jev je způsoben neúplným odstíněním magnetického pole míchačky.

Při kalibraci dbáme na to, abychom vstup integrátoru nepřetížili nepřiměřeným napětím (např. tím, že bychom na odporové dekádě nastavili příliš nízký odpor nebo dokonce odpor dekády vyřadili na nulu).

Potřebné údaje o kroužku

vnější průměr kroužku	d_1	=	10,00 mm
vnitřní průměr kroužku	d_2	=	6,05 mm
výška kroužku	v	=	4,10 mm
počet primárních závitů	n_1	=	50
počet sekundárních závitů	n_2	=	20

Při zpracování výsledků užíváme důsledně základních jednotek soustavy SI , jinak dostáváme magnetickou polarizaci řádově zcela chybně !

Literatura

- [1] Krupička S. : Fyzika feritů a příbuzných magnetických kysličníků, Academia, Praha 1969
- [2] Smit J., Wijn H.P.J. : Ferrites, Philips' Techn. Libr., Eindhoven 1959
Ruský překlad Izd. inostr. lit., Moskva 1962
- [3] Šternberk J.: Úvod do magnetizmu pevných látek I , Skriptum, SPN, Praha 1979
- [4] Vonsovskij S.V.: Magnetizm. Nauka, Moskva 1971
- [5] Brož J. a kol.: Základy fyzikálních měření I , SPN, Praha 1983